

4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1

Introdução

Para atender os objetivos deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica, conforme Capítulo 3 e arbitrado um cenário, composto pela instalação do equipamento de ensaio por emissão acústica juntamente com a máquina de ensaio - INSTRON, modelo 8802, de forma a permitir a monitoração do comportamento estrutural do material, utilizando o ensaio de tração apenas como meio de geração (estímulo) de tensão mecânica no corpo de prova, com carregamentos em patamares previamente estabelecidos. A Figura 4.1 mostra todo o equipamento utilizado para os ensaios.

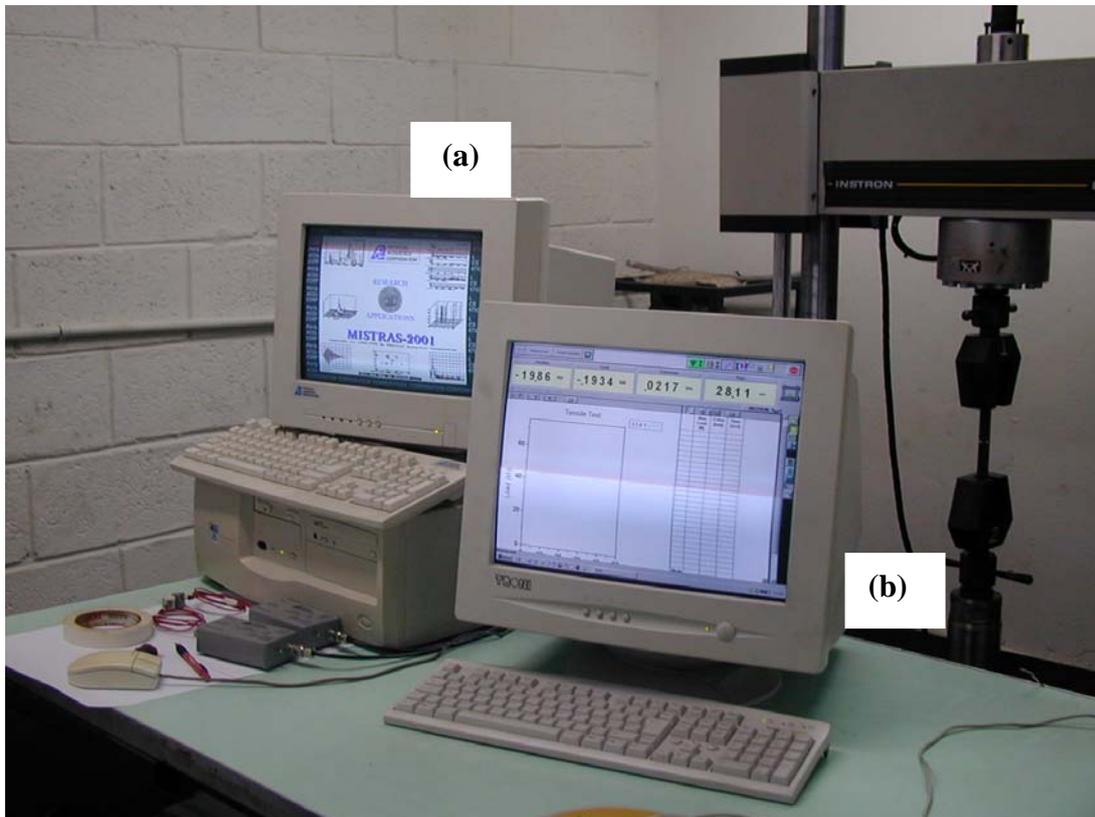


Figura 4.1: Vista de todo equipamento utilizado nos ensaios: (a) equipamento de emissão acústica; (b) máquina de ensaio INSTRON 8802.

Portanto, de acordo com o descrito nos Capítulos 2, enfoca-se com que antecedência é possível perceber estas fontes de emissão, para a detecção prematura da degradação do aço ASTM A 516 / A 516 M, grau 60, através da aplicação de carregamentos pelo ensaio de tração realizado nos corpos de prova, sendo aplicadas cargas em patamares previamente estabelecidos.

Para este caso, utilizou-se o ensaio de tração apenas como meio de geração de fontes de emissão acústica, uma vez que o ensaio de tração é um dos ensaios mecânicos mais utilizados, pois é de fácil aplicação; seus resultados são facilmente reprodutíveis e confiáveis. Para a geração de fontes de emissão acústica, aplicou-se cargas na direção axial do corpo de prova, com aumentos gradativos, não repentinos, desde zero até a força máxima de ruptura do material

Para realizar os testes, foram cortados e preparados 04 (quatro) corpos de prova de aço carbono A 516 / A 516 M – Grau 60, utilizado para fabricação de vasos de pressão. A qualidade dos corpos de prova foi avaliada através do ensaio visual, líquidos penetrantes e ultra-som, sendo os resultados considerados aprovados, ou seja, isentos de defeitos que pudessem mascarar o teste.

Para elaboração do planejamento do ensaio de emissão acústica neste Procedimento Experimental, utilizou-se como base de referência o item 3.5 descrito no Capítulo 3 desta dissertação.

4.2

Material

Foram utilizados 04 (quatro) corpos de prova de aço carbono, material ASTM A516 / A516 M-Grau 60, preparados e cortados em fita elétrica. Durante a preparação e fabricação dos corpos de prova, tomou-se o cuidado em utilizar o corte a frio, utilizando-se de limas manual para acabamento final, eliminando rebarbas e “quinas vivas”, de forma a evitar pontos de acúmulo de tensão que poderiam comprometer ou mascarar os resultados do ensaio de emissão acústica

As Tabelas 4.1 e 4.2 mostram respectivamente a composição química e as propriedades mecânicas deste material [14].

Tabela 4.1: Composição química do aço ASTM A 516 / A516 M – Grau 60 [14]

Composição Química (% em Peso)					
C (máx.)	Mn	P (máx.)	S (máx.)	Si	Ni
0,21	0,5 - 0,98	0,035	0,035	0,15 - 0,40	0,13 - 0,45

Tabela 4.2: Propriedades mecânicas do aço ASTM A 516 / A516 M – Grau 60 [14]

Propriedades Mecânicas		
LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento (%)
220	415 - 550	21

A Figura 4.2 mostra as dimensões em que os corpos de prova foram preparados, cortados e ensaiados de acordo com a norma ASTM, “Standard Test Methods for Tension Testing for Metallic Materials [Metric], E-8M, Edition 1996.

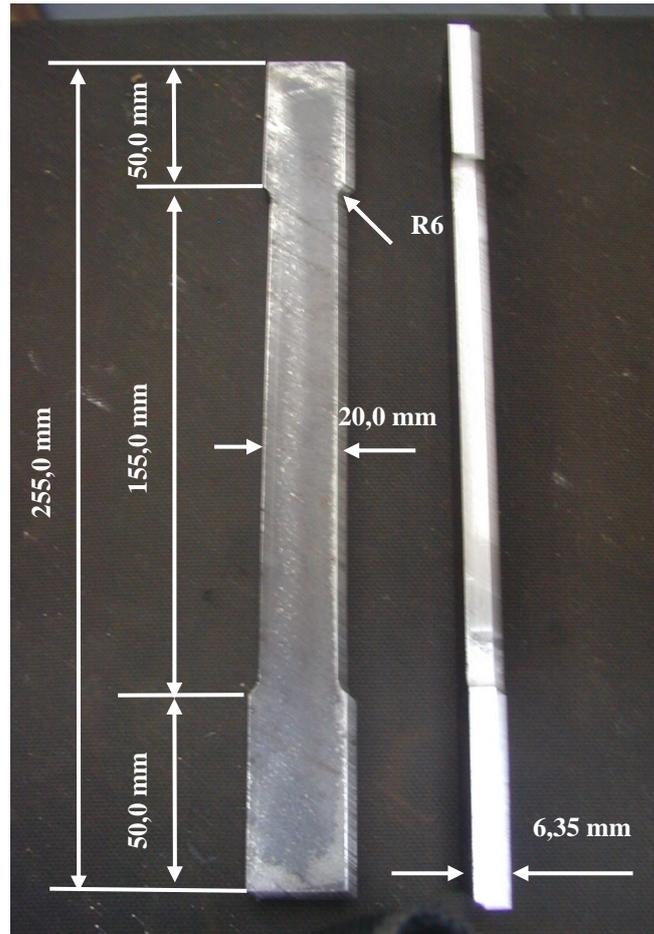


Figura 4.2: Características dimensionais dos corpos de prova [16].

Dimensionados os corpos de prova e, com base nas características dimensionais apresentadas na Figura 4.2, calculou-se a área da seção transversal de $127,0 \text{ mm}^2$, e a força máxima de ruptura, variando entre 52.705 e 69.850 N, conforme LR (MPa) da Tabela 4.2.

Para assegurar a qualidade destes corpos de prova antes de iniciar o ensaio, os mesmos foram submetidos a ensaio visual, líquidos penetrantes e ultra-som, sendo que os resultados não apresentaram nenhum tipo de descontinuidade que pudesse comprometer ou mascarar os resultados do ensaio de emissão acústica.

4.3

Equipamentos Utilizados no Experimento

Conforme já mencionado no item 4.1, foi utilizado o equipamento de ensaio por emissão acústica juntamente com a máquina INSTRON, os quais estão descritas suas características a seguir:

4.3.1

Equipamento de Ensaio por Emissão Acústica

Utilizou-se o equipamento de emissão acústica, MISTRAS 2001, de fabricação da Physical Acoustics Corporation (PAC).

A seguir as principais características técnicas do equipamento de emissão acústica [30]

- **Fabricante:** Physical Acoustics Corporation;
- **Modelo:** Mistras 2001;
- **Placa de Aquisição de Dados:** AEDSP-32/16 com 2 canais;
- **Limite de Referência:** 40 dB;
- **Sensores:** R 80, Ø ½”, n° de série SN 494 e SN 495, faixa de melhor sensibilidade de 125 kHz a 225 kHz e 260 kHz a 1000 kHz, frequência ressonante 200 kHz (ver certificados de calibração Anexos 2 e 3);
- **Pré-Amplificador:** modelo 2/4/6-AST, faixa de 20 a 1200 KHz, n° de série 2460442908 e 2460441908, com ganhos ajustáveis de 20 dB, 40 dB e 60 dB;
- **Amplificador Principal:** 40 dB;
- **Filtro:** 10 KHz a 1200 KHz;
- **Velocidade de Processamento:** 8 MHz;
- **Comprimento do cabo de sinal de conexão entre sensores e pré-amplificadores:** 1,50 m.

Como pode ser observado na Figura 4.3 o sistema tem uma placa com dois canais, dois sensores, dois pré-amplificadores, cabos de ligação do sensor ao pré-

amplificador, cabo de ligação do pré-amplificador ao equipamento, cabo de alimentação, processador de sinal e dois amplificadores principal (internos no equipamento), um monitor, um equipamento de gravação (disco rígido interno), um teclado e um mouse.

Na Figura 4.3, mostra também os seguintes acessórios que foram utilizados neste experimento: graxa de silicone, lapiseira 0,3 mm com grafite de dureza 2H e fita crepe para fixação dos sensores.

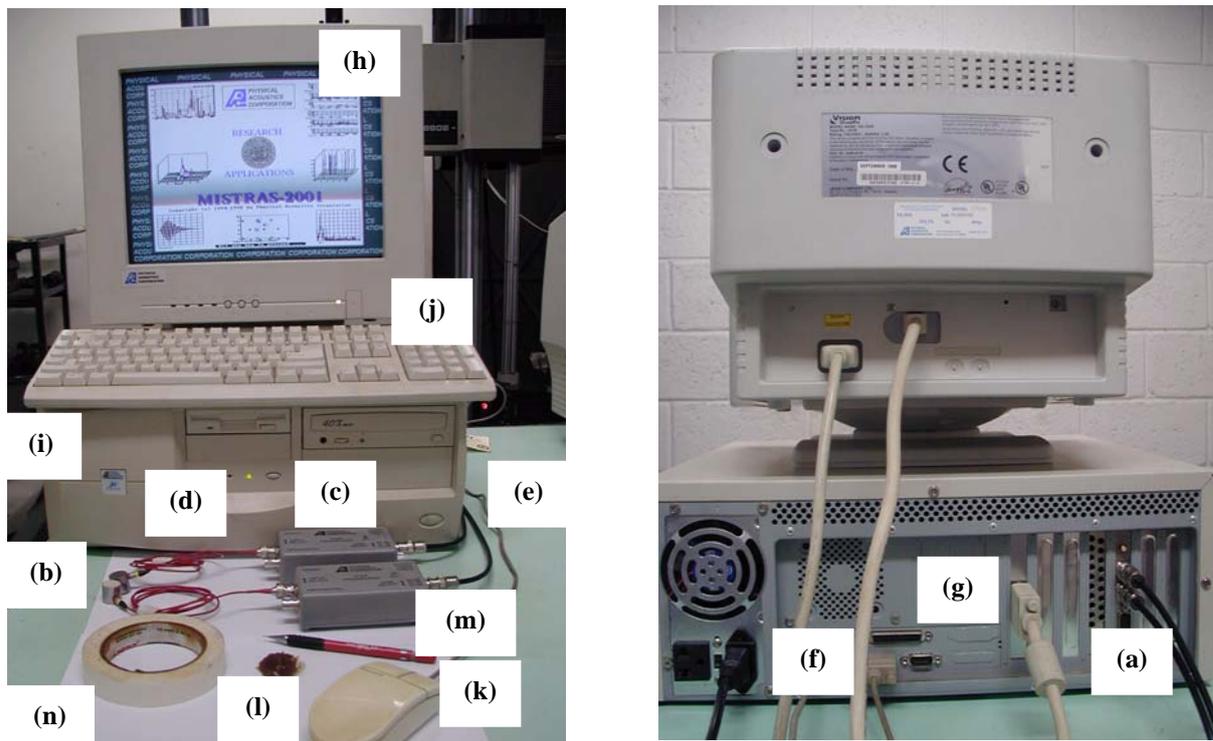


Figura 4.3: Equipamento de ensaio por emissão acústica: (a) placa com dois canais, (b) sensores, (c) pré-amplificadores, (d) cabos de ligação do sensor ao pré-amplificador, (e) cabo de ligação do pré-amplificador ao equipamento, (f) cabo de alimentação, (g) processador de sinal e amplificadores principal (internos no equipamento), (h) monitor, (i) equipamento de gravação (disco rígido interno), (j) teclado, (k) mouse, (l) graxa de silicone, (m) lapiseira 0,3 mm com grafite de dureza 2H e (n) fita crepe para fixação dos sensores.

Os circuitos eletrônicos que compõem este equipamento devem operar na faixa de temperatura entre 4°C a 35°C e umidade relativa do ar entre 20% e 90% [30].

A instrumentação de medição de dados e gravação, utilizados no ensaio, mede os seguintes parâmetros de emissão acústica: contagem, picos de amplitude, energia, duração e posição [30].

4.3.2

Máquina Servo-Hidráulica INSTRON 8802

Para realização do tensionamento mecânico dos corpos de prova, através do ensaio de tração, utilizou-se a máquina INSTRON, instalada no Laboratório de Robótica Simulação e Soldagem (LRSS) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.

A Figura 4.1 (b) mostra a máquina INSTRON, utilizada neste experimento, a qual possui as seguintes características técnicas, retiradas diretamente do Manual de Operação:

- **Modelo:** 8802
- **Capacidade:** 250 kN;
- **Placa de aquisição de dados:** modelo Daq 2000, instalado em um micro computador Pentium de 200 MHz;
- **Software de leitura da placa:** modelo Daq View 7.1;
- **Fonte de tensão:** contínua, com regulagem de 0 a 12 V.

4.4

Preparação Para Realização do Experimento

Para elaboração/desenvolvimento das atividades deste item, utilizou como base o Planejamento para Realização do Ensaio de Emissão Acústica descrito no item 3.5.

Para realização deste experimento, foi necessário fazer uma série de ensaios preliminares, para conhecer e parametrizar o equipamento de emissão acústica descrito no item 4.3.1 e o processo de funcionamento da máquina de ensaio, descrita no item 4.3.2.

Primeiro foram feitos testes para conhecer os níveis de ruído da máquina de ensaio sem nenhuma aplicação de carga. Nesta etapa, para todos os ensaios preliminares realizados, os níveis de ruídos inerentes ao processo de funcionamento da máquina de ensaio foram registrados na faixa de 41 dB a 56 dB, considerados alto, uma vez que o limite fixo de referência do equipamento de emissão é de 40 dB (ver item 4.3.1). Depois de constatado, estes elevados níveis de ruído, a única opção de parametrizar o equipamento de emissão acústica para a realização do experimento proposto foi trabalhar colocando o limite de referência na opção de “smart”, ou seja, esta condição faz com que o limite de referência do ensaio seja flutuante acompanhando a elevação ou o rebaixamento dos mesmos níveis de ruídos em dB originados pela máquina de ensaio.

Uma segunda avaliação foi verificar a possibilidade de manter constante a carga aplicada em cada patamar. Depois de várias tentativas, este processo só foi possível realizar utilizando o sistema manual da máquina ensaio, onde mesmo assim ocorria uma flutuação de $\pm 10\%$ do valor da carga estabelecida. Pois foi realizado aproximadamente o ensaio em 2 corpos de prova, com carregamento contínuo até a força máxima de ruptura do material. Durante este dois ensaios, não foi possível detectar e localizar nenhuma fonte de emissão acústica, devido ao fato do carregamento ter sido contínuo e a velocidade de aplicação da força de 5,0 mm/min ser considerada alta para esta aplicação. Velocidade esta, estabelecida pelo Manual da Máquina INSTRON para o ensaio de tração em aço carbono

Um terceiro fato ocorrido, e considerado bastante relevante para continuidade do trabalho, foi a constatação do superaquecimento da máquina de ensaio devido ao tempo de 2,5 horas estipulado para cada ensaio. Este problema foi solucionado, com o apoio do Laboratório de Robótica Simulação e Soldagem (LRSS) da UFMG, com a construção de um novo de sistema de refrigeração e mudança de capacidade de corrente da chave elétrica.

Depois de realizados 25 ensaios, e então conhecidos os parâmetros relevantes para a configuração do equipamento de emissão acústica juntamente com a máquina INSTRON, realizou-se uma seqüência de preparação para execução do ensaio.

4.4.1

Montagem e Fixação dos Corpos de Prova na Máquina INSTRON

A Figura 4.4 mostra como foi montado e fixado o corpo de prova na máquina de ensaio, para realização do teste.



Figura 4.4: Montagem e fixação do corpo de prova.

4.4.2

Montagem, Fixação e Posicionamento dos Sensores de Emissão Acústica

Depois de concluído a fixação do corpo de prova conforme mostrado na Figura 4.4, iniciou-se a montagem dos sensores, nas posições mostradas na Figura 4.5. Os sensores foram montados e acoplados acusticamente, utilizando-se graxa de silicone como acoplante e fita adesiva para fixação dos mesmos. A montagem e espaçamento entre sensores foram feitos respeitando os requisitos descritos nos itens 3.5.4 e 3.5.6.

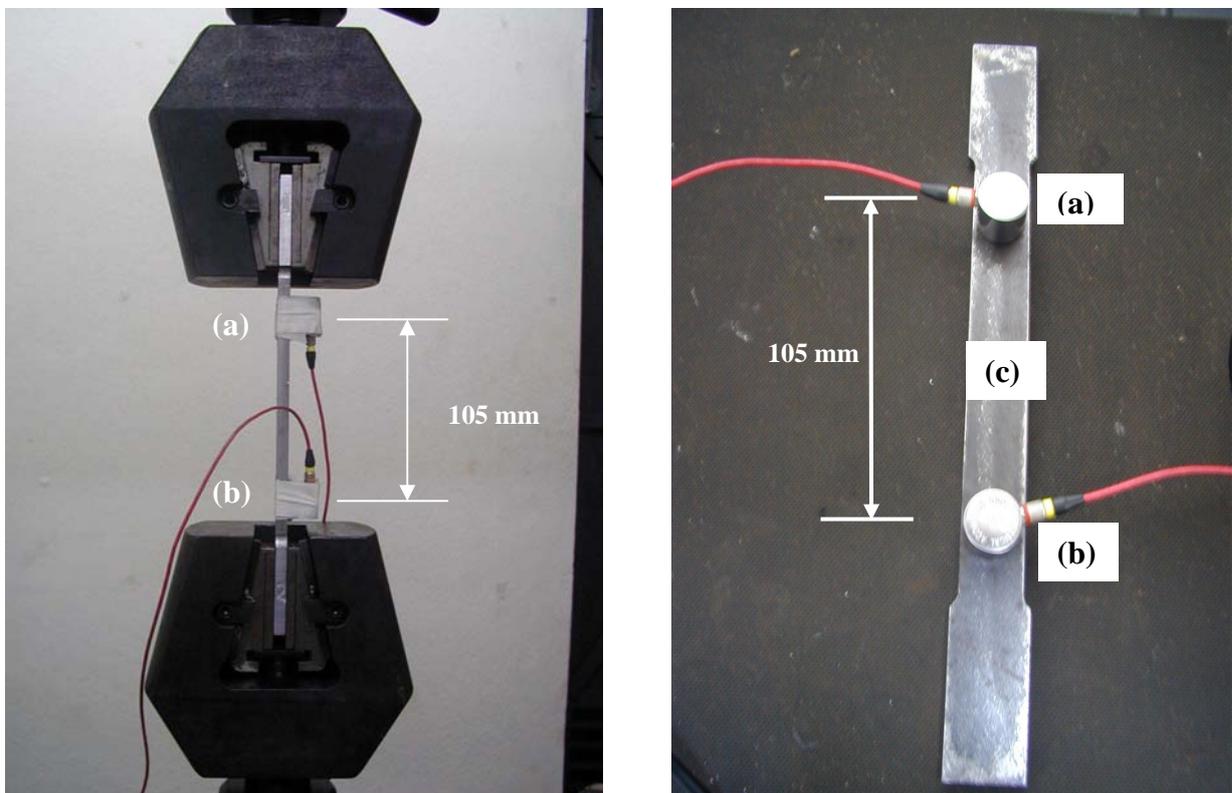


Figura 4.5: Montagem, fixação e posicionamento dos sensores: (a) sensor 1, (b) sensor 2, (c) corpo de prova.

Antes de realizar a montagem e fixação dos sensores conforme mostrado na Figura 4.5, tentou-se montá-los também nas garras e cabeçotes da máquina INSTRON, sendo que quando realizados os teste para verificação da sensibilidade os resultados dos mesmos foram insatisfatórios, não atendendo ao requisito do item 3.3.

4.4.3

Verificação do Desempenho de Todo o Sistema de Medição

Realizou-se um estudo de atenuação com critério para determinar o espaçamento entre sensores e o desempenho de cada canal. Esta avaliação foi executada no LRSS antes de iniciar cada ensaio de emissão acústica, utilizou-se a mesma metodologia e critério estabelecido no item 3.3.

Conforme mostrado na Figura 4.6, selecionou-se duas áreas a 20 mm de cada sensor para verificação, registro e avaliação do desempenho do sistema. Esta verificação se fez utilizando os acessórios citados no item 4.3.1, sendo uma lapiseira de diâmetro 0,3 mm, um grafite dureza 2H, sendo o ensaio realizado através da quebra do grafite e posterior avaliação da amplitude do sinal de emissão, equivalente a cada quebra de grafite. O registro da verificação, mostrado de forma ilustrativa na Figura 4.7 (a), da quebra do grafite no centro do corpo de prova foi feito apenas para confirmar os resultados obtidos a 20 mm de cada sensor, uma vez que estes são considerados os pontos mais críticos. Mas mesmo não registrando os valores medidos no centro dos corpos de prova, foi constatado que os mesmos estão dentro dos limites especificados. Conforme descrito no item 3.2 (a), este procedimento é necessário para verificação da condição do acoplamento do sensor e a continuidade do circuito para a transmissão dos sinais, sendo que os resultados obtidos não devem exceder a 4 dB. Este procedimento foi realizado no início e final de cada ensaio de emissão acústica. Os resultados apresentados nas curvas de caracterização da atenuação foram média de 3 medições consecutivas, conforme mostrado na Figura 4.7 (b) e (c). Portanto, de posse destes resultados, construiu-se a curva amplitude *versus* distância, sendo esta a curva característica de atenuação, para cada corpo de prova ensaiado.

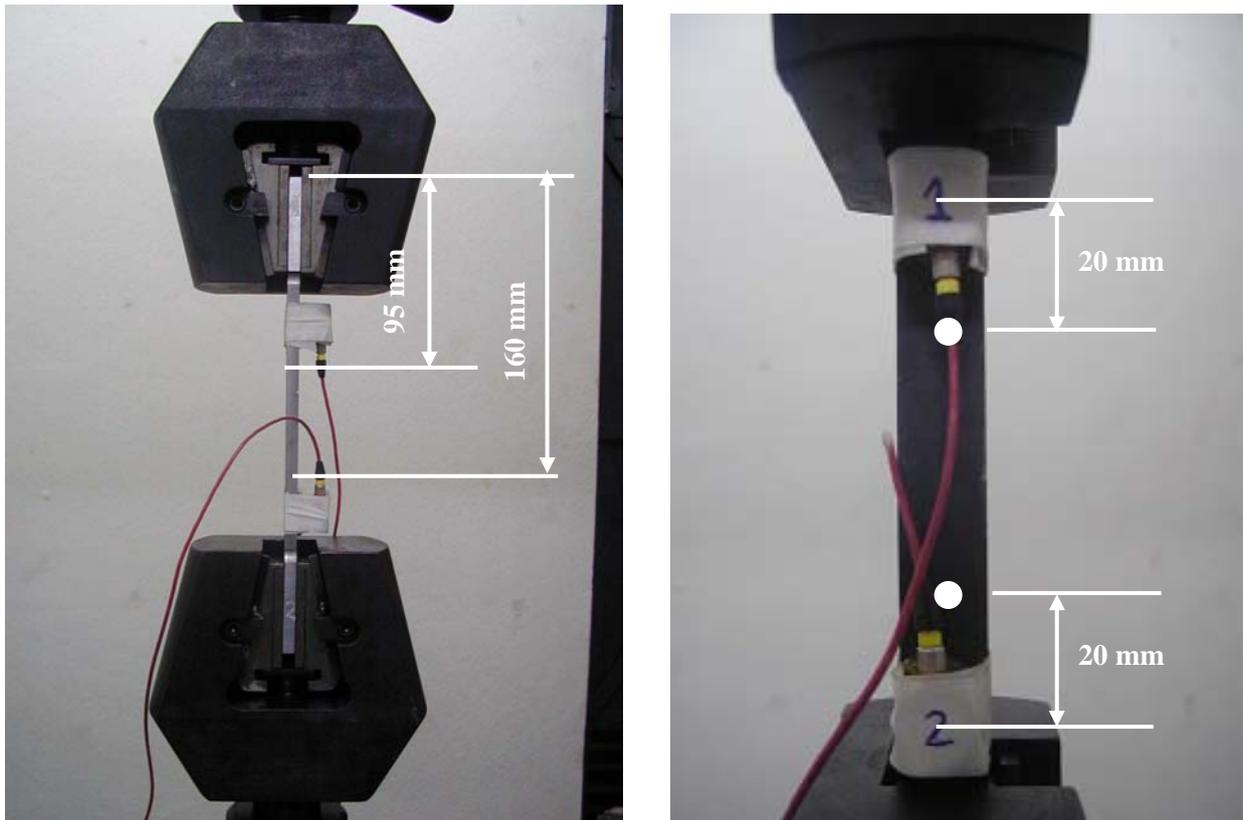


Figura 4.6: Posições da quebra do grafite \varnothing 3,0 mm, dureza 2H para calibração do sistema.

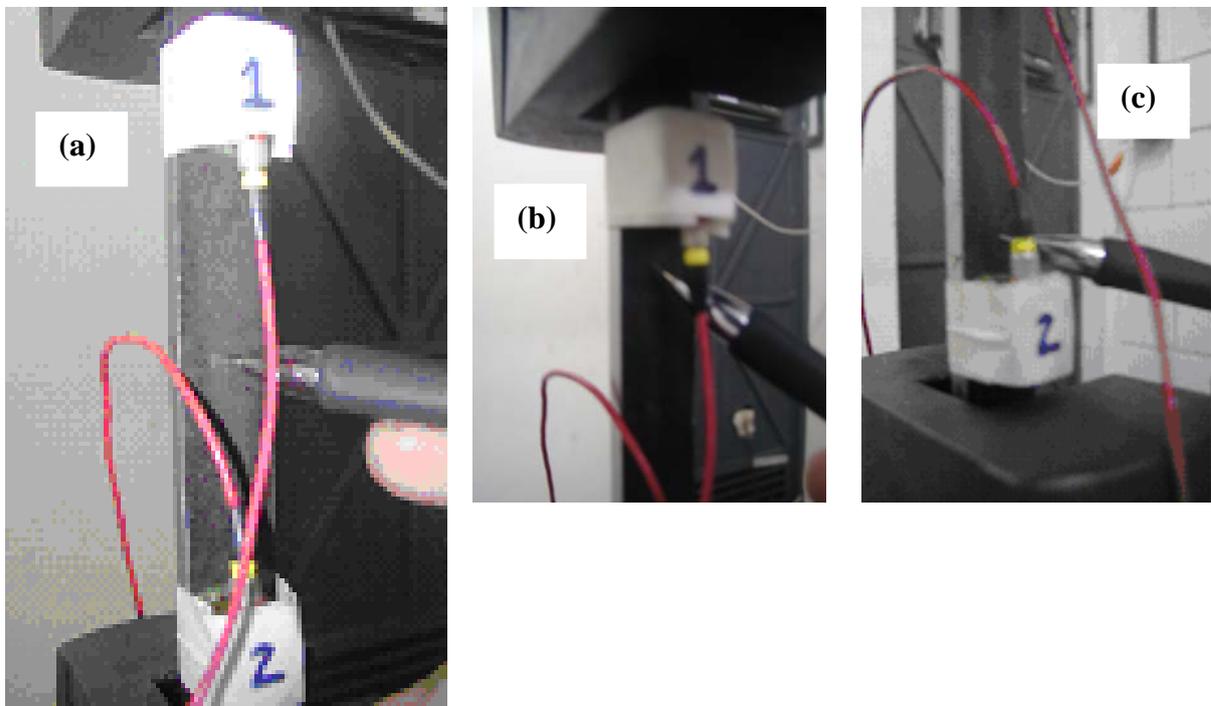


Figura 4.7: Forma ilustrativa das posições da quebra do grafite \varnothing 3,0 mm, dureza 2H: (a) ponto central entre sensores; (b) a 20 mm do sensor 1; (c) a 20 mm do sensor 2.

Os resultados obtidos na verificação do desempenho do sistema de medição para cada corpo de prova, conforme posicionamentos mostrados nas Figuras 4.6 e 4.7 são apresentados a seguir:

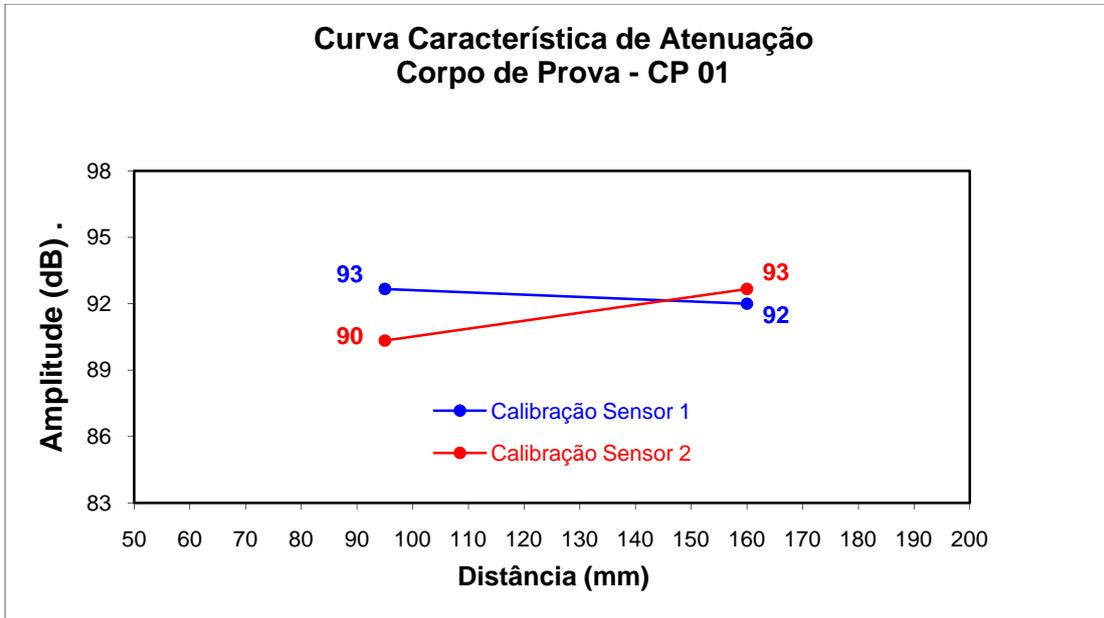


Figura 4.8: Curva característica de atenuação do corpo de prova CP 01.

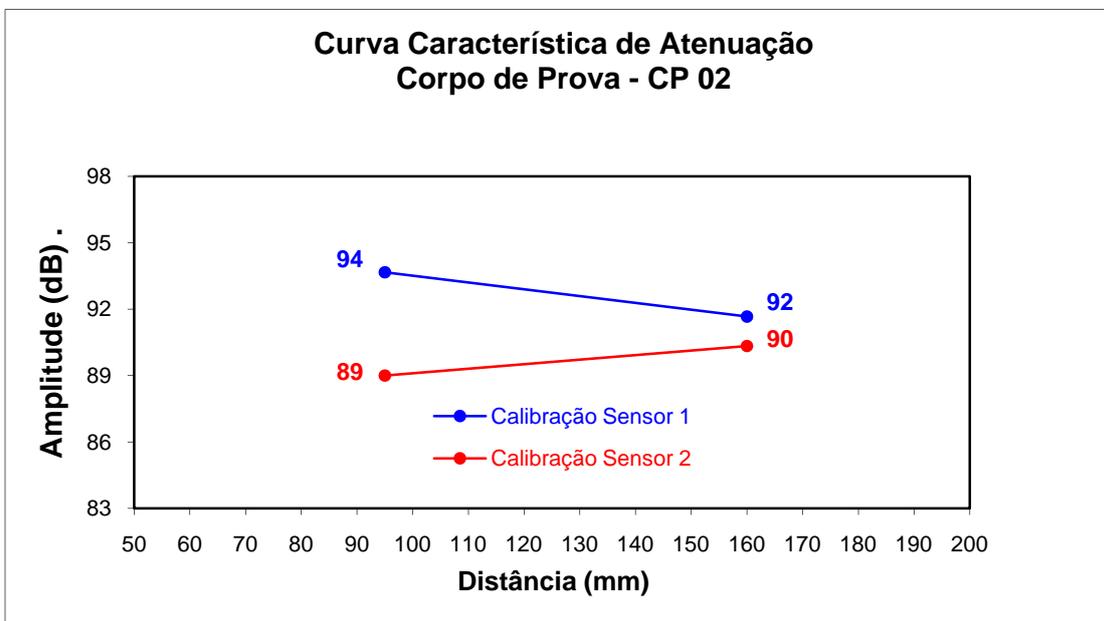


Figura 4.9: Curva característica de atenuação do corpo de prova CP 02.

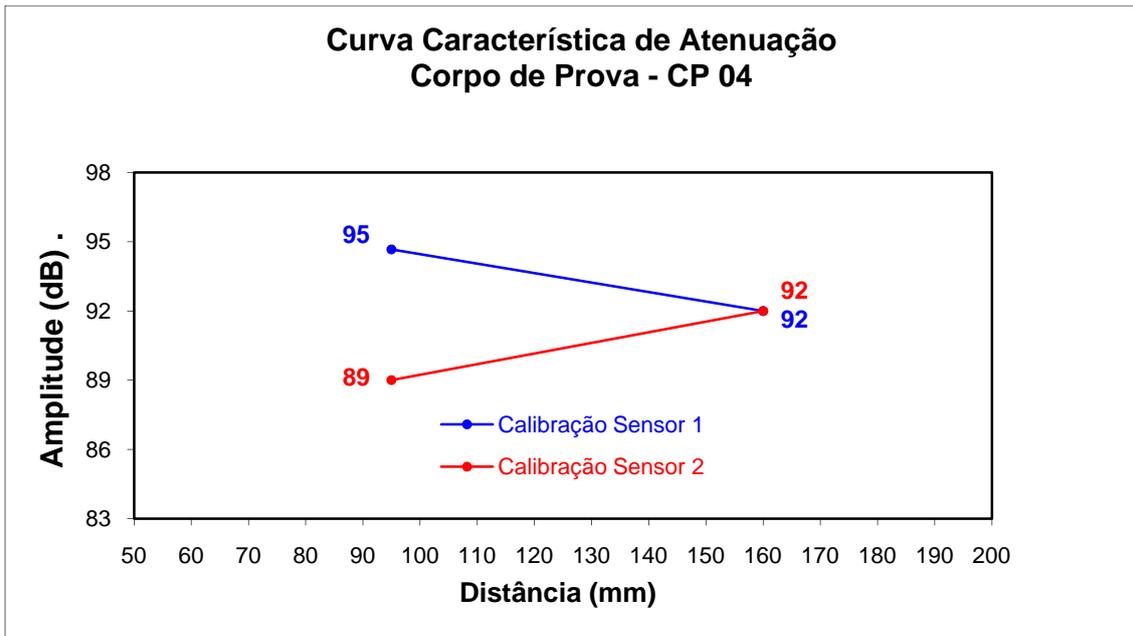


Figura 4.10: Curva característica de atenuação do corpo de prova CP 04.

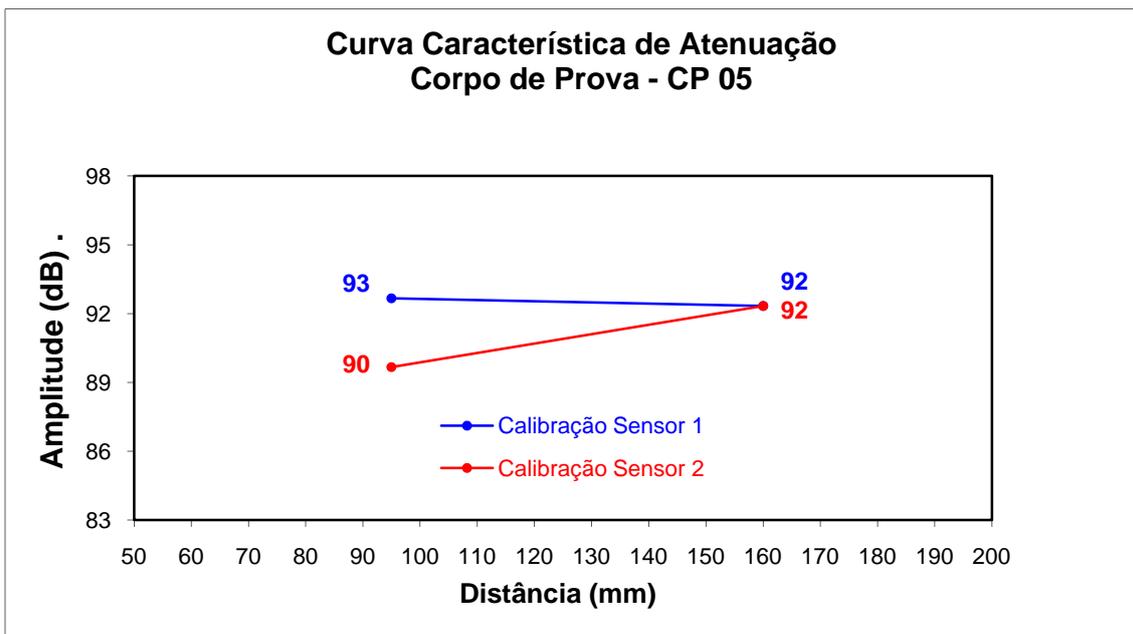


Figura 4.11: Curva característica de atenuação do corpo de prova CP 05.

4.4.4

Parametrização dos Equipamentos Utilizados no Experimento

Depois de realizadas todas as atividades de fixação dos corpos de prova, montagem e posicionamento dos sensores e calibração do sistema de medição, foi então possível fazer os ajustes necessários nos equipamentos para obter os resultados a serem apresentados no Capítulo 5.

Portanto, as parametrizações realizadas foram as seguintes:

a) Equipamento de ensaio por emissão acústica:

- Limite de referência (threshold): smart, com o limite de referência parametrizado desta forma, permite que o equipamento registre todos os níveis de sinais igual ou superior ao limite de referência (smart), ou seja o limite de referência acompanha todas as possíveis variações dos sinais de emissão acústica. O fato de não parametrizarmos o limite de referência em “fixo”, conforme recomendado anteriormente, se deve ao nível de ruído acima do limite de referência, fazendo com que o equipamento de emissão acústica não registre sinal (fica “surdo”).
- Filtro: 10 KHz a 1200 KHz;
- Pré-amplificador: 40 dB.

b) Máquina INSTRON para o ensaio de tração:

- Velocidade do carregamento 1,0 mm/min;
- Operação manual para estabilização da carga em cada patamar estabelecido.

4.4.5

Seqüência de Aplicação dos Carregamentos

O ensaio é global, e após corpo de prova ter sido fixado conforme mostrado na Figura 4.4, e com o objetivo de eliminar alguns ruídos de fundo identificados na fase de preparação, item 4.4.1, por exemplo, escorregamento (atrito) da garra da

máquina na fixação no corpo de prova, aplicou-se uma força de tração de 10% da força máxima de ruptura (77.000 N), por um período de 3 minutos, em seguida o corpo de prova foi descarregado até que o monitor da máquina de ensaio indicasse força nula.

Depois de realizada esta etapa, iniciou-se então a aplicação da força de tração, sendo as cargas aplicadas na direção axial do corpo de prova, com aumentos gradativos, não repentinos, velocidade de 1,0 mm/min, desde zero até a ruptura final. O valor máximo da força de ruptura (77.000 N) indicado na Figura 4.12 foi definido através de ensaio experimental realizado com corpo de prova do mesmo material e dimensão citado no item 4.2.

Os incrementos de força foram aplicados conforme patamares estabelecidos na Figura 4.12, sendo os tempos de patamares escolhido de 15 minutos, de forma a permitir uma melhor avaliação do comportamento dinâmico do corpo de prova. Este tempo de patamar pode ser estendido até que cesse a atividade de emissão acústica, sendo que o tempo do último patamar (10) deve ser de no mínimo 30 minutos ou até o corpo de prova atingir o limite da força máxima de ruptura..

A escolha de patamares com incrementos menores a partir da força de tração de 60.000 N foi com objetivo, conforme descrito no Capítulo 3, detectar com maior sensibilidade e precisão as atividades de emissão acústica, uma vez que neste patamar o material já está em regime plástico.

Para maior confiabilidade nos resultados obtidos, realizou-se adicionalmente em cada patamar de carregamento mostrado na Figura 4.12, o mesmo procedimento descrito no item 4.4.3, sendo a quebra do grafite feito somente nos centros entre os sensores e decorridos 10 minutos após a estabilização da carga em cada patamar. Os resultados obtidos serão comentados a seguir.

O monitoramento através do ensaio de emissão acústica foi então utilizado para avaliar e mapear o comportamento do corpo de prova ensaiado na máquina, durante o incremento de tensões mecânicas aplicadas.

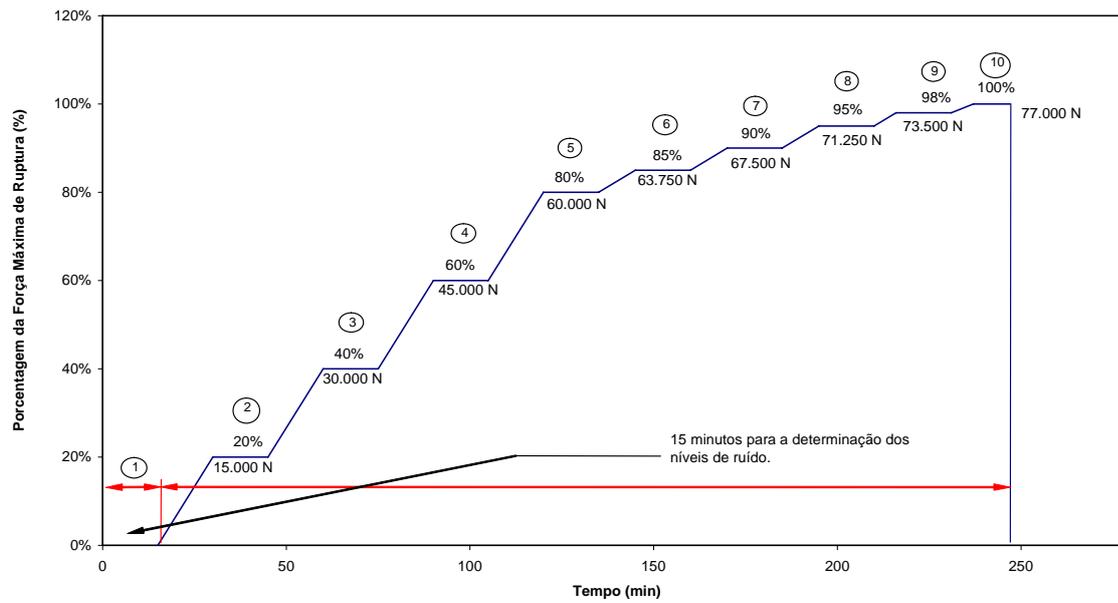


Figura 4.12: Sequência de aplicação dos carregamentos no ensaio de tração.